

О.Б. Письменная
г. Желтые Воды

ЭКОНОМИКА РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ГИДРОЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА УРАНОВЫХ ШАХТАХ

Ядерная энергетика, являющаяся одной из наиболее перспективных для Украины, в настоящее время вырабатывает почти 50 % электроэнергии. Снабжение атомных станций тепловыделяющими элементами (ТВЭЛами) происходит за счет поставляемых из России сборок. Несмотря на значительные запасы урановых руд на Украине, а Украина занимает первое место в Европе и 6 в мире, обеспечение атомных станций урановым сырьем, в настоящее время, осуществляется только на 30 %. С одной стороны это объясняется низким содержанием урана в добываемой руде а, с другой стороны, необходимостью вовлечения в отработку рудных месторождений, залежи которых находятся в районе расположения городов и населенных пунктов. Это предопределяет необходимость закладки выработанных пустот, что существенно увеличивает стоимость и, в конечном счете, экономические показатели выпуска закиси-оксида урана.

Практика добычи угля в Донбассе, а также калийных солей в западной Украине, без проведения гидрозакладочных работ, привела к катастрофическим экологическим последствиям. Так, например, в Закарпатье в районе поселка Солотвино «...может образоваться провал размером с футбольное поле и глубиной не менее 20

м» [1]. Проведение добычи железорудного сырья в Кривом Роге и его окрестностях, без закладки выработанных пустот, явилось причиной трагедии, повлекшей за собой гибель человека, образование воронки площадью 16 гектаров и глубиной около 50 метров.

Аналогичная картина в настоящее время наблюдается на первой урановой шахте бывшего СССР (шахта «Первомайская» которая расположена на территории Терновского района). На восточной окраине города Желтые Воды, где добыча урановой руды на шахтах «Капитальная», «Ольховская», «Новая» велась без осуществления гидрозакладочных работ, образовались воронки обрушения, а расположенный в непосредственной близости жилой сектор стал зоной отчуждения. Интенсивная откачка шахтных вод, осуществляемая для исключения затопления образовавшихся в процессе добычи руды пустот, стала следствием обмеления русла реки Желтая в десятки раз и загрязнением грунтов в районах хвостохранилищ ураном и естественными радионуклидами. Дальнейший сброс загрязненных шахтных вод осуществляется в Карачуновское водохранилище, являющееся источником питьевого водоснабжения города Кривой Рог.

В последние десятилетия на урановых шахтах Восточного ГОКа ситуация существенно изменилась. Осуществляемая в настоящее время добыча урановой руды на шахтах Ингульская и Смолинская (Кировоградская область) проводится с выполнением всего комплекса гидрозакладочных работ. Однако, применение в качестве инертного наполнителя песка, добываемого карьерным способом на территории Кировоградской области, имеет крайне негативные экологические последствия для региона и Украины в целом, в связи с отсутствием действенного механизма оценки ущерба от производственной деятельности по добыче песка карьерным способом и требований к проведению рекультивационных работ.

Использование твердеющей закладки при добыче урановых руд позволяет вести сплошную отработку рудных тел с минимальными потерями руды [2], что предопределяет расширение объемов горных работ и оказывает существенное улучшение экономических показателей добычи урановых руд. Это очевидное противоречие результатов экономических показателей деятельности урановых шахт и экологической обстановки в регионе, что определяется явной несостоятельностью законодательных актов Украины об использовании недр. Кроме того, проведение работ по рекультивации карьеров и приведению ландшафта в исходное состояние в десятки раз превосходит стоимость инертного наполнителя гидрозакладки. В этой связи нами рассмотрены и проанализированы мировые теоретические разработки, а также опыт и практика различных горнорудных производств, техногенные последствия и возможность взаимоувязанного функционирования различных процессов для оптимизации, экологизации и улучшения экономических показателей гидрозакладочных работ.

Аналогичная проблема существует во многих зарубежных странах. По данным [3] в Великобритании при разработке карьера, пахотный и подпочвенный слой сохраняют и, в последующем, используют для восстановления ландшафта. При этом учитывается не только возможность нормального проникновения воды в почву, но и соблюдаются требования предельных уклонов для проведения сельскохозяйственных работ с применением техники. Реализация таких мероприятий в наших условиях приведет к многократному увеличению стоимости песка, что, фактически, поставит вопрос об экономической целесообразности гидрозакладочных работ при добыче урановых руд с указанным выше содержанием урана.

Практика ВостГОКа показала, что применение систем с твердеющей закладкой дает возможность проводить добычу руды под реками, водоемами и жилым сектором, обеспечивая при этом отработку руд без нарушения массива вмещающих пород [2]. Дальнейшее увеличение добычи урановых руд на месторождении Центральное (Ингульская шахта), а также введение в эксплуатацию шахты на Новоконстантиновском месторождении, расположенной под городом Кировоград и селом Алексеевка, требует применения высококачественной твердеющей закладки, позволяющей достичь прочности на сжатие не менее 7,5 МПа [4].

В настоящее время на закладочных комплексах урановых шахт используют твердеющие закладки, приготовленные из граншлака, песка и воды. Усредненный состав закладочных смесей состоит из песка — 1200 кг, граншлака 400 кг и воды в количестве 350–450 л, что позволяет

заполнить 1 м³ выработанного пространства. При этом к ингредиентам гидрозакладочной смеси предъявляются повышенные технические требования. Так песок должен характеризоваться следующими показателями:

- модуль крупности, $M_k = 0,0241,0$;
- включения гравия (размеры — 30+5 мм) до 10 % по весу;
- количество глинистых частиц 15ч25 % по весу;
- объемная масса 1,2ч1,45 т/м³;
- расчетная влажность около 10 %;
- приращивание объема при набухании до 10 %;
- количество органических веществ лимитируется ГОСТ 8735–67 для строительных материалов.

Для обеспечения песком гидрозакладочных комплексов Смолинской и Ингульской шахт указанного качества осуществляется добыча песка на карьерах Дачный, Коноплянский, разрезах Морозовский, Константиновский, Кизельгур и др. Расположенные на территории Кировоградской области, в районе лучших черноземов Европы, указанные карьеры требуют проведения вскрышных работ, вывоза чернозема и снятия слоя глины, практически не находящей применения. Добываемый песок имеет химический и гранулометрический составы, указанные в табл. 1, 2.

Нами изучен опыт проведения гидрозакладочных работ в различных странах мира, осуществляющих добычу рудного сырья с закладкой выработанных пустот. Существует практика применения в качестве мелкого заполнителя хвостов обогатительных фабрик в смеси с природным песком. Опыт применения хвостов меднорудных и золоторудных обогатительных фабрик показал возможность их использования вместо песка [5]. Однако, значительное наличие илистой фракции (свыше 40 %), а также присутствие в них сульфидов, оказывающих разупорядочивающее воздействие на закладку, требует их обесшламливания.

Следует отметить, что в последнее время начато детальное изучение накопившихся на шламохранилище СевГОК и ИнГОКа продуктов переработки железистых кварцитов Первомайского и Анновского месторождений [6]. Авторы указанной работы отмечают наличие в поступающем на переработку сырье целого ряда ценных примесных элементов, а именно: скандия, ванадия, германия, золота, иттрия, платины и др. В этой связи в аналитической лаборатории Центральной научно-исследовательской лаборатории ГП «Вост ГОКа» были выполнены анализы на содержание указанных примесных элементов в отходах образовавшихся в процессе вторичной переработки шламов. Полученные результаты показали наличие в отходах указанных элементов на уровне кларковых содержаний. В то же время, в некоторых пробах, присутствует германий на уровне от 0,003 % до 0,008 % (при кларковом содержании 0,00027 %), что, по имеющимся данным, дает возможность рассматривать промышленное извлечение Ge на СевГОКе.

Наличие других указанных элементов находится при этом, ниже предела обнаружения, что свидетельствует о концентрировании их в обогащенном продукте — железорудном концентрате.

Кроме того, в качестве основной составляющей, обеспечивающей текучесть гидрозакладочной смеси и ее прочность является наличие в составе закладки SiO₂, снижающей скорость твердения закладочного массива в начальные сроки при достаточно интенсивном наборе прочности в поздние сроки твердения. Существен-

Таблица 1
Результаты химического анализа проб песка
с Ингульской и Смолинской шахт

Вид песка	Содержание основных компонентов, %									
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	органика
Смолинский	92,48	0,37	0,39	2,10	0,50	0,107	1,77	0,135	0,12	0,92
Ингульский	95,15	0,67	0,36	2,10	0,50	0,29	2,40	0,135	0,27	1,67

Таблица 2
Гранулометрический состав проб песка

Вид песка	Содержание (%) классов крупности (мм)					
	+ 0,5	-0,5+0,25	-0,25 +0,14	-0,14 +0,10	-0,10 +0,04	-0,04
Смолинский	0,4	12,5	51,1	28,8	2,1	5,4
Ингульский	2,9	6,4	33,9	47,8	4,5	4,5

ное значение имеет также гранулометрический состав закладочного материала. Отсев крупных частиц природного песка, в процессе вторичной переработки, приводит к увеличению прочности закладки [7].

Необходимо особо отметить, что существующая мировая практика широко использует отходы одного производства в технологических процессах других отраслей. Более того, в последнее время налажен обмен отходами производств различных стран Европы, что полностью соответствует концепции стабильного развития мирового сообщества.

Нами предпринята первая попытка использования отходов Криворожских ГОКов в производственной деятельности добычи руд на урановых шахтах Кировоградщины.

По-сууществу, рассматриваемая проблема является началом работ решения вопросов, поставленных конференцией ООН по окружающей среде и развитию в Рио де Жанейро в 1992 г. применительно к урановой промышленности.

Предложенная концепция устойчивого развития, включающая 3 аспекта: экологический, экономический и социальный, достаточно полно изложена в [8]. В ней отмечено, что недооценка любой из указанных составляющих неизбежно приводит к нарушению стратегии устойчивого развития. Что касается нашей страны и, в частности, Днепропетровской и Кировоградской областей, то несмотря на имеющиеся Постановления Кабинета Министров Украины (2002 г.), фактически отсутствуют как комплексные государственные так и региональные программы устойчивого развития. Первые попытки проведения работ по реализации концепции устойчивого развития так и не нашли практического применения.

В качестве замены песка при приготовлении гидрозакладочных смесей нами рассмотрены отходы различных производств и горнообогатительных комбинатов, находящихся в регионе расположения шахт Кировоградского района. В качестве возможных инертных наполнителей, для замены песка, рассмотрены отходы железнорудных ГОКов Кривбасса, в частности Северного и Ингулецкого горнообогатительных комбинатов. Это объясняется географической близостью расположения указанных ГОКов и шахт Кировоградской области. Химический состав указанных отходов и их грансостав представлены в табл. 3 и табл. 4.

Указанные в таблице результаты показывают принципиальную возможность применения отходов указанных ГОКов в качестве инертного наполнителя вместо песка. Следует также отметить, что кварцевый песок,

Таблица 3
Химический состав проб песка и «отходов»
Северного и Ингулецкого ГОКов

Наименование пробы	Содержание основных компонентов, %										Содержание глинистых частиц, %
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Органика	
Сев. ГОК	69,2	6,55	9,66	2,66	4,83	1,12	2,50	0,34	0,36	2,7	7,1
Ин. ГОК	65,72	8,72	9,17	2,73	4,23	0,78	2,62	0,29	0,43	2,3	17,0

Таблица 4
Гранулометрический состав проб песка
Северного и Ингулецкого ГОКов

Вид песка	Содержание (%) классов крупности (мм)					
	+0,5	+0,25	+0,14	+0,1	+0,04	-0,04
Сев. ГОК	7,9	27,1	20,5	3,6	20,6	20,3
Ин. ГОК	9,6	32,6	22,6	4,1	16,1	15,0

образующийся как отход в процессе получения железнорудных концентратов, обладает рядом технологических преимуществ перед естественным. Это объясняется тем, что естественный кварцевый песок, получаемый в процессе карьерной добычи, имеет «окатанную», округлую форму с окисленной поверхностью. При этом наблюдается понижение адгезионной способности и физико-химических свойств поверхности частиц. Образующиеся в процессе получения концентрата отходы горнообогатительных комбинатов характеризуются произвольной формой, острыми гранями, что обуславливает большую удельную и менее окисленную поверхность. За счет этого улучшаются адгезионные свойства и, в конечном итоге, прочность закладочной смеси. Проводимые в настоящее время на СевГОКе и ИнГОКе работы по вторичной переработке накопленных ранее отходов дают возможность снизить наличие шламовых частиц и произвести отсев железосодержащих, обладающих повышенным грансоставом, включений [9].

Для изучения возможности замены песка отходами, образующимися на фабриках вторичной переработки железнорудных шламов, по нашей инициативе были проведены исследования по применению отходов СевГОКа в качестве инертного наполнителя гидрозакладочных смесей. Необходимо отметить, что в соответствии с «Инструкцией по технологии приготовления твердеющей закладки на закладочных комплексах предприятия» [4] к гидрозакладочным смесям урановых шахт предъявляются жесткие требования. После 6 месяцев выдержки прочность образцов на одноосное сжатие не может быть ниже 7,5 МПа. Как показали проведенные на базе ЦНИЛ ГП «ВостГОК», при нашем участии, исследования, прочность гидрозакладочной смеси с применением отходов вторичной переработки шламов СевГОКа превышала 7,5 МПа. Это позволяет рекомендовать отходы СевГОКа, после вторичного извлечения из них железнорудных частиц, в качестве инертного наполнителя (вместо песка) при приготовлении гидрозакладочных смесей на комплексах Ингульской и Смолинской шахт, находящихся на территории Кировоградской области.

Дополнительными аргументами в пользу предлагаемой ресурсосберегающей технологии являются:

- территориальная близость расположения СевГОКа;
- возможность использования полувагонов, поставляющих товарную руду на ГМЗ (г. Желтые Воды) и, после разгрузки, направляемых на погрузку руды на указанные шахты.

При этом отпадает необходимость в проведении большого объема работ по добыче песка карьерным способом, а также восстановлению ландшафта и сохранению уникального чернозема центральной части Украины.

В это же время, будет происходить рекультивация хвостохранилищ СевГОКа, а также территорий занимаемых Ингулецким ГОКом Кривбасса.

Дальнейшее развитие ядерной энергетики, требующее расширения сырьевой базы добычи урановых руд, поставило задачу увеличение добычи урана на Ингульской и Смолинской шахтах с 900–950 тыс. тонн в год до 1,3–1,4 млн. тонн руды в год. Вовлечение в переработку Ново-Константиновского месторождения с постепенным (на протяжении 5 лет) повышением добычи уранового сырья со 150 тыс. тонн в год до 2 млн. и более тонн в год потребует значительных объемов песка для гидрозакладки отработанных пустот. По предварительным данным, увеличение объемов, требующих заполнения, приведет к возрастанию пустот с 350 тыс. м³ до 1,1 млн. м³ пустот. Внедрение предлагаемой ресурсосберегающей технологии позволит существенно улучшить экономические показатели уранодобывающих комплексов, так как в структуре цены стоимость инертного наполнителя составляет значительную долю.

Следовательно, практическая реализация взаимосвязанных экологических проблем урановых шахт Украины и железорудных ГОКов Кривбасса позволит улучшить социально-экологическую ситуацию в центральной части Украины.

Во-первых, исключение добычи песка карьерным способом приведет к сбережению ландшафта, прекращению уничтожения чернозема, эрозии почв и пылению карьеров Кировоградской области.

Во-вторых, использование лежалых хвостов, после вторичной переработки, даст возможность снизить техногенную нагрузку на территорию Криворожского бассейна и начать их утилизацию в горных выработках урановых шахт. Следует отметить, что начавшиеся в последнее время на ГОКах Кривбасса работы по переработке лежалых хвостов, позволят ежегодно уменьшить объем размещения промышленных отходов на 14–16 %, что при ежегодном складировании 55 млн. тонн хвостов на хвостохранилищах обогатительных комбинатов Кривбасса позволит рассматривать возможность их применения и в других производственных циклах, в частности, для строительства дамб хвостохранилищ уранового гидрометаллургического завода.

Нами рассмотрена также экономическая оценка целесообразности проведения указанных выше работ. Для выполнения анализа рассмотрена структура цены добываемой руды и структура проведения гидрозакладочных работ. Результаты анализа структуры цены добываемой руды на Ингульской и Смолинской шахтах представлены на рис. 1 и рис. 2.

В стоимость структуры цены гидрозакладочных работ (погашение пустот, геолого-разведочных и горнопроходческих работ) на указанных шахтах заложена цена песка и его доставки. Так на Ингульской шахте, по данным за 2009 год, цена одной тонны песка, поставляемого с карьера Армикс составляла 8,34 грн., а с карьера Соник — 25,86 грн. При этом поставки с карьера Армикс составляли 30 %, а с карьера Соник — 70 %. Стоимость песка, применяемого на Смолинской шахте, была на уровне 12–14 грн. за

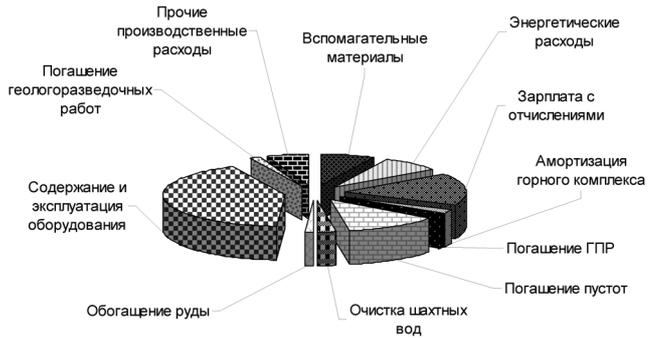


Рис. 1. Себестоимость добычи руды на Ингульской шахте



Рис. 2. Себестоимость добычи руды на Смолинской шахте

тонну. Стоимость лежалых хвостов СевГОКа, прошедших вторичную переработку, нулевая, кроме того, ГОК производит отчисления в бюджет за складирование хвостов. Структура цены гидрозакладочных работ на Ингульской и Смолинской шахтах представлены на рис. 3 и 4.

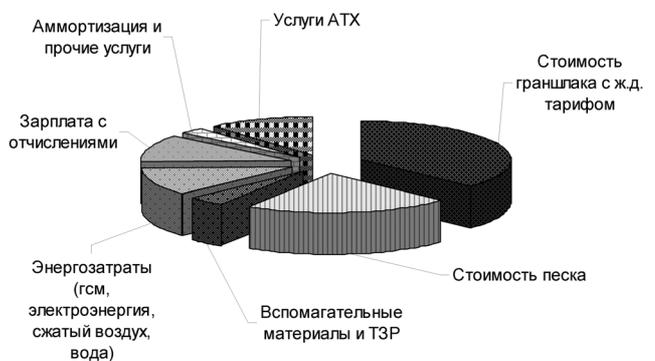


Рис. 3. Структура цены гидрозакладочных работ на Ингульской шахте

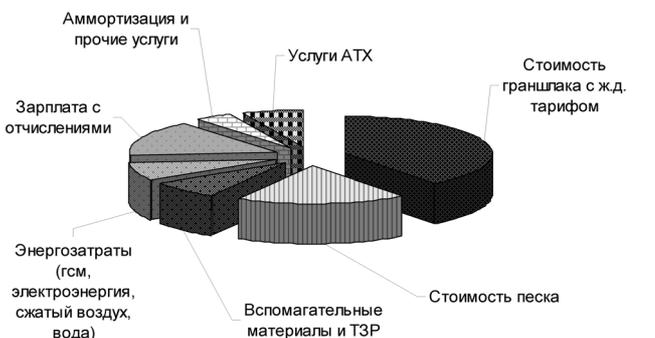


Рис. 4. Структура цены гидрозакладочных работ на Смолинской шахте

Для определения экономической эффективности предложенных работ по замене песка отходами Криворожских ГОКов нами рассмотрено также количество добываемой руды за период с 2002 по 2009 годы и объемы образующихся, подлежащих гидрозакладке пустот, на Ингульской и Смолинской шахтах. Полученные показатели добычи руды и образующихся пустот представлены на рис. 5 и 6.

Как видно из представленных на рис. 1–4 данных стоимость гидрозакладочных работ в общей смете по добыче руды составляет по Ингульской шахте 15,59 %, на Смолинской шахте — 19,18 %. При этом стоимость песка в гидрозакладке на Ингульской шахте составляет 22,3 %, а на Смолинской шахте — 18,6 %. Следовательно, стоимость непосредственно песка в общей структуре себестоимости добываемой руды по Ингульской шахте находится на уровне 3,48 %, а на Смолинской шахте — 3,57 %.

Таким образом, предлагаемый вариант использования отходов Криворожских ГОКов на урановых шахтах ГП «Вост ГОКа» является экономически и экологически обоснованным. Проводимые исследования являются началом разработки комплексной программы ресурсосбережения при добыче урановых руд Украины с целью улучшения экономических показателей выпускаемого уранового концентрата. При этом в полной мере будет реализовываться концепция устойчивого развития, включающая социальные, экологические и экономические аспекты.

Литература

1. Литвиненко А. Украина уходит под землю / А. Литвиненко // Новая . — 2009. — 26 апреля.
2. Чернов А. П. Добыча и переработка урановых руд в Украине / А. П. Чернов, М. И. Бабак, Ю. И. Кошик и др. — К. : «АДЕФ-Украина», 2001. — 237 с.
3. Дикань В. Л. Основы экологии и природопользования / В. Л. Дикань, А. Г. Дейнека, Л. А. Позднякова и др. — Х. : ООО «Атлант», 2002. — С. 351.
4. Жданов В. Н. Технологии приготовления твердеющей закладки на закладочных комплексах предприятия : инструкция / В. Н. Жданов. — Желтые Воды, 2003. — 22 с.
5. Кравченко В. П. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений / В. П. Кравченко, В. В. Куликов. — М. : Недра, 1974. — С. 200.
6. Федорова И. А. Гранулометрический состав отходов обогащения Северного горнообогатительного комбината Криворожского бассейна / И. А. Федорова,

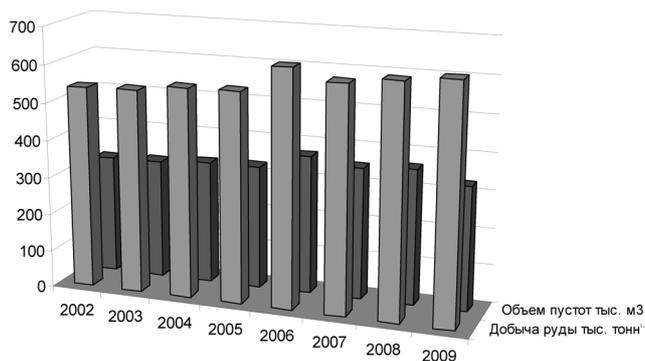


Рис. 5. Показатели добычи руды и образующихся пустот шахты Ингульская

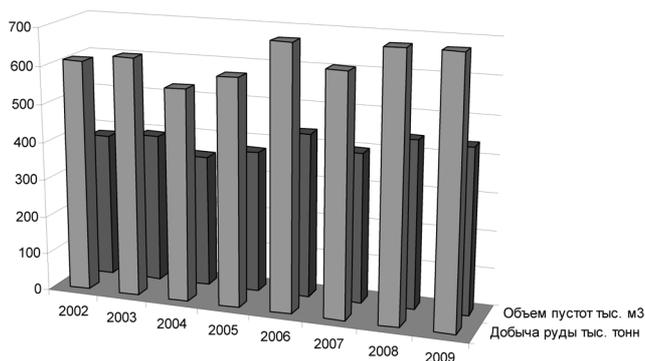


Рис. 6. Показатели добычи руды и образующихся пустот шахты Смолинская

ва, В. Д. Евтехов // Геолого-минералогічний вісник. — 2001. — № 1. — С. 38–46.

7. Закладочные работы в шахтах: Справочник / под ред. Д. М. Бронникова, М. Н. Цыгалова. — М. : Недра. 1989. — 346 с.

8. Задорский В. М. Экологическая ситуация в Украине и в Запорожье / А. М. Задорский // 5-я Общевропейская конференция министров окружающей среды. «Окружающая среда Европы». [Электронный документ]. — Режим доступа: <http://ecoz/at/ua/pub1/1-1-0-5>.

9. Евтехов Е. В. Влияние условий складирования хвостов на качество техногенных железных руд Криворожского бассейна / Е. В. Евтехов // Геолого-минералогічний вісник. — 2004. — № 1. — С. 31–39.